

## Tool measuring method for machine spindle

Patent Number: DE4244869  
Publication date: 1997-08-28  
Inventor(s): WINKLER HANS-HENNING DR ING (DE); RUETSCHLE EUGEN DIPL ING (DE)  
Applicant(s): CHIRON WERKE GMBH (DE)  
Requested Patent: DE4244869  
Application Number: DE19924244869 19921114  
Priority Number(s): DE19924244869 19921114; DE19924238504 19921114  
IPC Classification: G01B11/03 ; G01V8/00 ; G01P3/00 ; B23Q17/24  
EC Classification: B23Q17/22C ; G01B11/00D ; G01V8/12  
Equivalents:

### Abstract

The tool (14) is moved between a spindle stock and a workpiece table. The relative position of the spindle stock to a reference point is measured by a displacement measurement system. The tool is moved in the direction of one of its coordinates to an optical measurement plane perpendicular to these coordinates. The measurement system produces a signal when the tool enters the plane, and the instantaneous spindle stock position is measured. The tool dimensions are then derived from the measured position and the relative position of the measurement plane to the reference point. The procedure is also conducted in a coordinate direction transverse to the longitudinal direction of the tool.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 42 44 869 C 2

⑤1 Int. Cl. 5:  
G 01 B 11/03  
G 01 V 8/00  
G 01 P 3/00  
B 23 Q 17/24

⑳ Aktenzeichen: P 42 44 869.7-52  
㉑ Anmeldetag: 14. 11. 92  
㉒ Offenlegungstag: 19. 5. 94  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 8. 97

DE 42 44 869 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:  
Chiron-Werke GmbH & Co KG, 78532 Tuttlingen, DE  
㉘ Vertreter:  
Witte, Weller, Gahlert, Otten & Steil, 70178 Stuttgart

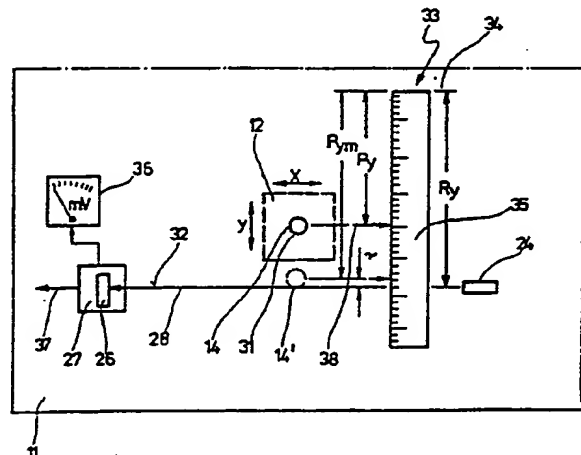
㉙ Teil aus: P 42 38 504.0

㉚ Erfinder:  
Rütschle, Eugen, Dipl.-Ing., 78570 Mühlheim, DE;  
Winkler, Hans-Henning, Dr.-Ing., 78532 Tuttlingen, DE

㉛ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
EP 00 98 930 A2

㉜ Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges

㉝ Beschrieben wird ein Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel einer Werkzeugmaschine, bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel aufnehmenden Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird. Die relative Lage ( $P_y$ ) des Spindelstockes (12) zu einem Referenzpunkt (34) wird mittels eines Wegmeßsystems (33) bestimmt, wobei das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten ( $Y$ ) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate ( $Y$ ) verlaufenden optischen Meßebe (32) mit zugeordnetem optischen Meßsystem zugestellt wird. Das Meßsystem gibt dabei ein Meßsignal aus, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebe (32) eintaucht. Bei Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebe wird die relative Lage des Spindelstockes als Lagemaßwert gemessen und aus dem Lagemaßwert sowie aus der relativen Lage der Meßebe die Abmaße des Werkzeuges berechnet. Ferner wird das Meßsignal des Meßsystems mit einem Vergleichswert verglichen, um festzustellen, ob das Werkzeug in die Meßebe (32) eintaucht, wobei der Vergleichswert mit demselben Meßsystem ermittelt wird, um den aktuellen Verschmutzungsgrad der Luft im Arbeitsraum zu berücksichtigen (Fig. 3).



DE 42 44 869 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges in einer Spindel einer Werkzeugmaschine, bei der das Werkzeug durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel aufnehmenden Spindelstock und einem Werkstücktisch zugestellt wird, wobei

- die relative Lage des Spindelstockes zu einem Referenzpunkt mittels eines Wegmeßsystems bestimmt wird,
- das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten einer im wesentlichen quer zu der Koordinate verlaufenden optischen Meßebe mit zugeordnetem optischen Meßsystem zugestellt wird,
- das Meßsystem ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug in die Meßebe eintaucht,
- bei Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebe die momentane relative Lage des Spindelstockes als Lagemeßwert gemessen wird, und
- aus dem Lagemeßwert sowie aus der relativen Lage der Meßebe zu dem Referenzpunkt die Abmaße des Werkzeuges in der Koordinate berechnet werden, wobei
- das Meßsignal des Meßsystems mit einem von dem Meßsystem aufgenommenen Vergleichswert verglichen wird, um festzustellen, ob das Werkzeug in die Meßebe eintaucht.

Ein derartiges Verfahren ist aus der Druckschrift EP-B-00 98 930 bekannt.

Das bekannte Verfahren dient dazu, das Werkzeug einer NC-Werkzeugmaschine auf Bruch oder Verschleiß zu überwachen. Dazu wird das Werkzeug bei der Zustellung oder beim Zurückziehen in Werkzeuglängsrichtung durch eine quer zur Vorschubrichtung des Werkzeuges stehende optische Meßebe gefahren. Diese Meßebe wird durch eine Laserlichtschranke gebildet, wobei die Unterbrechung der Lichtschranke durch Vergleich ermittelt und als Signal ausgewertet und die aktuelle relative Position der das Werkzeug aufnehmenden Spindel gemessen wird.

Um die Länge des Werkzeuges bestimmen zu können, muß ferner die relative Lage der Lichtschranke zu dem Nullpunkt des Wegmeßsystemes bekannt sein, mittels dessen die Position der Spindel ermittelt wird.

Durch eine einfache Differenzbildung zwischen der relativen Lage der Lichtschranke und der momentanen Lage der Spindel bzw. des Spindelstockes kann dann die Länge des Werkzeuges berechnet werden. Durch Vergleich der berechneten Länge mit einer Solllänge kann dann auf Verschleiß oder Bruch geschlossen werden.

Um die aus einem Geber und einem Sensor bestehende Lichtschranke vor Verschmutzung durch Kühlwasser, Späne oder andere Verunreinigungen zu schützen, sind Abdeckkappen vorgesehen. Ferner sind Blasdüsen vorhanden, um den Geber und den Sensor zu reinigen.

Bei dem bekannten Verfahren ist von Nachteil, daß die Genauigkeit der Längenbestimmung davon abhängt, wie genau die relative Lage der Lichtschranke bekannt ist. Kommt es bspw. während der Arbeitsvorgänge der Werkzeugmaschine zu thermischen Deflectionen oder sonstigen Lageveränderungen zwischen der Lichtschranke und dem Referenzpunkt des Wegmeßsystemes, ist eine genaue Längenbestimmung des Werkzeuges nicht mehr möglich.

Ferner wird die Längenbestimmung des Werkzeuges

durch im Bearbeitungsraum befindliche Verunreinigungen der Luft beeinträchtigt, denn diese Verunreinigungen führen zu einem Signalabfall in der Lichtschranke, welcher sich dem Signalabfall überlagert, der durch ein in den Strahl eintauchendes Werkzeug hervorgerufen wird. Auf diese Weise ist die Messung der momentanen relativen Lage des Spindelstockes mit einem großen Unsicherheitsfaktor versehen. Dies führt zu einer großen Meßungenauigkeit bei der Bestimmung der Länge des Werkzeuges.

Je ungenauer jedoch die aktuelle Länge des Werkzeuges bestimmt werden kann, desto unsicherer sind auch Aussagen über Bruch oder Verschleiß, die mit dem bekannten Verfahren gewonnen werden sollen.

Ferner ist aus der EP-A-0 346 288 ein Verfahren bekannt, bei dem ein Werkzeug teilweise in einen breiten Laserstrahl hineingefahren wird, um den Durchmesser, die Exzentrizität und die Rundheit des Werkzeuges zu bestimmen. Eine Längenmessung ist aus dieser Druckschrift nicht bekannt.

Im übrigen weist dieses Verfahren dieselben Nachteile auf, wie sie oben bereits im Zusammenhang mit dem aus der EP-B-0 098 930 bekannten Verfahren beschrieben wurden, insbesondere ist es nicht für den Einsatz bei laufenden Werkzeugmaschinen gedacht.

Ferner offenbart die WO 87/07550 ein Verfahren, bei dem Schneidkanten mit einem Laserstrahl und CCD-Kameras vollständig vermessen werden.

Die DE-AS-22 31 776 offenbart eine Vorrichtung, bei der eine langgestreckte Lichtquelle teilweise von einem zu vermessenden Gegenstand abgeschattet wird, so daß je nach der Geometrie des Gegenstandes mehr oder weniger Licht auf einen Meßsensor fällt. Licht der gleichen Lichtquelle wird außerdem unbehindert auf einen Referenzsensor abgebildet. Eine Quotientenbildung der Signale beider Sensoren ermöglicht es, daß Einflüsse des Umgebungslichtes oder im Betrieb auftretende Schwankungen der Helligkeit der Lichtquelle keine Wirkung auf das Meßsignal ausüben.

Schließlich ist es aus dem Buch von Hans Hart: "Einführung in die Meßtechnik", VEB-Verlag Technik, Berlin, 1977, Seiten 330—333, allgemein bekannt, daß Geräte vor Inbetriebnahme durch Normale abgeglichen werden können.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, das eingangs genannte Verfahren dahingehend weiterzubilden, daß die vorstehend genannten Nachteile vermieden werden. Insbesondere sollen die Meßgenauigkeit sowie die Reproduzierbarkeit beim Vermessen des Werkzeuges erhöht werden. Außerdem soll das neue Verfahren dazu beitragen, daß die Werkzeugmaschine selbst mit größerer Genauigkeit betrieben werden kann.

Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, daß in dem Vergleichswert der aktuelle Verschmutzungsgrad der Luft in dem Arbeitsraum berücksichtigt wird, indem nur ein drastischer Signalabfall des Meßsignales gegenüber dem Vergleichswert als Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebe gewertet wird, und der vor einem solchen drastischen Signalabfall genommene Vergleichswert beibehalten wird.

Durch diese Maßnahme wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe vollkommen gelöst. Durch den Vergleich des Meßsignales mit einem Vergleichswert werden nämlich die in dem Arbeitsraum der Werkzeugmaschine vorhandenen Verunreinigungen sozusagen "ausgeblendet", denn in dem Vergleichswert kann

der aktuelle Verschmutzungsgrad der Luft in dem Arbeitsraum dadurch berücksichtigt werden, daß nur eine drastische Änderung als Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebeine genommen wird. Hierbei wird nämlich davon ausgegangen, daß die Intensitätsänderung des Laserstrahles durch die im Arbeitsraum vorhandenen Verunreinigungen verglichen mit der Änderung der Intensität durch das Eintauchen eines Werkzeuges gering ist.

Die Unsicherheit bei der Messung der momentanen relativen Lage des Spindelstockes wird dadurch drastisch reduziert, was wiederum zu einer genaueren Messung der Abmaße des Werkzeuges führt. Dies wiederum führt dazu, daß die Werkzeugmaschine mit höherer Genauigkeit betrieben werden kann.

Dabei ist es bevorzugt, wenn vor dem Vermessen des Werkzeuges ein Meßwerkzeug mit definierten Abmaßen vermessen wird, und wenn aus dem Lagemaßwert für das Meßwerkzeug und den definierten Abmaßen die relative Lage der Meßebeine bestimmt wird.

Hier ist von Vorteil, daß jetzt die relative Lage der Meßebeine im Betrieb der Werkzeugmaschine jederzeit neu vermessen werden kann, so daß Deflektionen der Maschine erkannt und berücksichtigt werden können. Thermische Ausdehnungen der Maschine oder sonstige Lageveränderungen der Meßebeine werden somit erkannt und führen nicht mehr zu einer Fehlberechnung der Abmaße des zu vermessenden Werkzeuges. Damit wird sowohl die Meßgenauigkeit als auch die Reproduzierbarkeit bei dem erfindungsgemäßen Verfahren deutlich erhöht. Weil nun aber die aktuellen Abmaße des Werkzeuges genauer vermessen werden können, kann auch die Werkzeugmaschine mit höherer Betriebssicherheit und Genauigkeit arbeiten.

Dabei ist es bevorzugt, wenn ein vor dem Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebeine genommener Meßwert, vorzugsweise der zuletzt genommene Meßwert, als Vergleichswert verwendet wird.

Hier ist von Vorteil, daß der Vergleichswert sozusagen zeitgleich mit dem Meßsignal bestimmt werden kann, so daß auch eine sich schnell ändernde Verschmutzung im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine keinen Einfluß auf die Meßgenauigkeit ausüben kann.

Insbesondere ist es bevorzugt, wenn mehrere der vorstehend erwähnten Maßnahmen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführt werden.

Dies ist deshalb von Vorteil, weil durch die Kombination der vorstehend erwähnten Maßnahmen die Meßgenauigkeit noch einmal gesteigert werden kann. Zum Beispiel ist für die Bestimmung des Durchmessers oder der Rundheit eines Werkzeuges eine viel größere Meßgenauigkeit erforderlich als für die Bestimmung der Länge eines Werkzeuges. Wenn also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bspw. die Meßgenauigkeit durch Verwendung eines Vergleichswertes und/oder durch Verwendung eines Meßwerkzeuges zur Bestimmung der relativen Lage der Meßebeine erhöht wird, lassen sich der Durchmesser und die Rundheit des Werkzeuges noch genauer bestimmen.

Aber auch bei der Längenbestimmung eines Werkzeuges hat die Kombination der Maßnahmen "Meßwerkzeug" und "Vergleichswert" den kumulativen Vorteil, daß die Meßgenauigkeit noch einmal deutlich gesteigert wird.

All dies führt dazu, daß die Abmaße des Werkzeuges genauer bekannt sind und somit die Werkzeugmaschine mit höherer Auflösung und größerer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit betrieben werden kann.

Dabei ist es ferner bevorzugt, wenn der Vergleichswert periodisch wiederkehrend gemessen wird.

Diese Maßnahme ist insbesondere dann von Vorteil, wenn größere Verunreinigungen, wie Späne, durch den Arbeitsraum fliegen, während die Messung vorgenommen wird. Diese Verunreinigungen können nämlich das Meßsystem zum Ansprechen bringen, obwohl das Werkzeug noch gar nicht in die Meßebeine eingetaucht ist. Da die Späne ihre Lage im Arbeitsraum jedoch relativ schnell verändern, ist ihr Einfluß bei der nächsten Messung schon nicht mehr vorhanden, so daß auch derartige Verschmutzungen ausgeblendet werden können.

In einer Weiterbildung ist es bevorzugt, wenn das Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebeine durch eine Differenzmessung ermittelt wird.

In Fortbildung der Maßnahme, das Meßsignal mit einem Vergleichswert zu vergleichen, ist hier von Vorteil, daß der Meßwert und der Vergleichswert zeitgleich bestimmt werden, so daß auch schnelle Veränderungen in der Verschmutzung des Arbeitsraumes ausgeblendet werden.

Hier ist es von Vorteil, wenn die optische Meßebeine durch eine Lichtschranke, vorzugsweise eine Laserlichtschranke, gebildet wird.

Auch diese Maßnahme trägt in vorteilhafter Weise zur Erhöhung der Meßgenauigkeit bei. Eine Lichtschranke, vorzugsweise eine Laserlichtschranke, hat nämlich einen definierten Meßstrahl mit sehr geringem Durchmesser, so daß zum Unterbrechen des Lichtstrahles nur ein sehr geringes Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebeine erforderlich ist. Außerdem kann vorgesehen werden, daß bereits eine bestimmte Abschwächung des Lichtstrahles durch das in diesen Strahl eindringende Werkzeug — bspw. um 60% — als Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebeine erkannt wird. Die Auflösung des Meßsystems wird auf diese Weise also deutlich erhöht, so daß insgesamt die Vermessung mit größerer Genauigkeit erfolgen kann.

In einer Weiterbildung der genannten Verfahren ist es bevorzugt, wenn sie bei drehendem Werkzeug durchgeführt werden und wenn das Meßsystem periodisch Meßwerte liefert.

Diese Maßnahme ist insbesondere bei der Bestimmung der Rundheit des zu vermessenden Werkzeuges von Vorteil, trägt aber insgesamt dazu bei, daß das erfindungsgemäße Verfahren schneller durchgeführt werden kann. Es muß nämlich nicht mehr gewartet werden, bis das Werkzeug zum Stillstand abgebremst worden ist.

Durch das periodische Liefern der Meßwerte von einem sich drehenden Werkzeug kann außerdem leicht auf die Rundheit des Werkzeuges geschlossen werden. Ein un rundes Werkzeug wird nämlich bei tangentialem Anfahren an die Meßebeine zeitweise in die Meßebeine eintauchen und diese zeitweise wieder verlassen, so daß die Meßwerte im Rhythmus des sich drehenden Werkzeuges bedingt durch die mangelnde Rundheit des letzteren periodisch schwanken. Das Erkennen der fehlenden Rundheit des Werkzeuges erhöht jedoch wieder die Betriebssicherheit und Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine.

Hier ist es weiter bevorzugt, wenn die Drehzahl des Werkzeuges derart an die Meßperiode des Meßsystems angepaßt ist, daß die Drehzahl und die Meßperiode nicht miteinander synchronisiert sind.

Unter nicht synchronisiert ist hier zu verstehen, daß die Meßperiode von der Zeit für eine Umdrehung des Werkzeuges, vorzugsweise von einem ganzzahligen Vielfachen oder einem ganzzahligen Teil dieser Zeit

verschieden ist.

Auf diese Weise wird erreicht, daß während der gesamten Meßdauer Meßwerte von mehreren Punkten längs des Umfangs des Werkzeuges genommen werden. Auf diese Weise können auch kleine Abweichungen in der Rundheit des Werkzeuges erfaßt werden, was wiederum die Meßgenauigkeit, die Reproduzierbarkeit und die Bearbeitungsgenauigkeit erhöht.

Insgesamt ist es bevorzugt, wenn das Verfahren auf einer Werkzeugmaschine mit automatischem Werkzeugwechsel durchgeführt wird und zwischen den Werkzeugwechseln die relative Lage der Meßebe-  
 10 bestimmt wird.

Hier ist von Vorteil, daß immer wieder während des Bearbeitungsvorganges durch die Werkzeugmaschine ein Meßwerkzeug eingewechselt werden kann, um die Lage der Meßebe-  
 15 in der relativen Lage der Meßebe-  
 20 in der relativen Lage der Meßebe-  
 25 in der relativen Lage der Meßebe-  
 30 in der relativen Lage der Meßebe-  
 35 in der relativen Lage der Meßebe-  
 40 in der relativen Lage der Meßebe-  
 45 in der relativen Lage der Meßebe-  
 50 in der relativen Lage der Meßebe-  
 55 in der relativen Lage der Meßebe-  
 60 in der relativen Lage der Meßebe-  
 65 in der relativen Lage der Meßebe-  
 70 in der relativen Lage der Meßebe-  
 75 in der relativen Lage der Meßebe-  
 80 in der relativen Lage der Meßebe-  
 85 in der relativen Lage der Meßebe-  
 90 in der relativen Lage der Meßebe-  
 95 in der relativen Lage der Meßebe-  
 100 in der relativen Lage der Meßebe-  
 105 in der relativen Lage der Meßebe-  
 110 in der relativen Lage der Meßebe-  
 115 in der relativen Lage der Meßebe-  
 120 in der relativen Lage der Meßebe-  
 125 in der relativen Lage der Meßebe-  
 130 in der relativen Lage der Meßebe-  
 135 in der relativen Lage der Meßebe-  
 140 in der relativen Lage der Meßebe-  
 145 in der relativen Lage der Meßebe-  
 150 in der relativen Lage der Meßebe-  
 155 in der relativen Lage der Meßebe-  
 160 in der relativen Lage der Meßebe-  
 165 in der relativen Lage der Meßebe-  
 170 in der relativen Lage der Meßebe-  
 175 in der relativen Lage der Meßebe-  
 180 in der relativen Lage der Meßebe-  
 185 in der relativen Lage der Meßebe-  
 190 in der relativen Lage der Meßebe-  
 195 in der relativen Lage der Meßebe-  
 200 in der relativen Lage der Meßebe-  
 205 in der relativen Lage der Meßebe-  
 210 in der relativen Lage der Meßebe-  
 215 in der relativen Lage der Meßebe-  
 220 in der relativen Lage der Meßebe-  
 225 in der relativen Lage der Meßebe-  
 230 in der relativen Lage der Meßebe-  
 235 in der relativen Lage der Meßebe-  
 240 in der relativen Lage der Meßebe-  
 245 in der relativen Lage der Meßebe-  
 250 in der relativen Lage der Meßebe-  
 255 in der relativen Lage der Meßebe-  
 260 in der relativen Lage der Meßebe-  
 265 in der relativen Lage der Meßebe-  
 270 in der relativen Lage der Meßebe-  
 275 in der relativen Lage der Meßebe-  
 280 in der relativen Lage der Meßebe-  
 285 in der relativen Lage der Meßebe-  
 290 in der relativen Lage der Meßebe-  
 295 in der relativen Lage der Meßebe-  
 300 in der relativen Lage der Meßebe-  
 305 in der relativen Lage der Meßebe-  
 310 in der relativen Lage der Meßebe-  
 315 in der relativen Lage der Meßebe-  
 320 in der relativen Lage der Meßebe-  
 325 in der relativen Lage der Meßebe-  
 330 in der relativen Lage der Meßebe-  
 335 in der relativen Lage der Meßebe-  
 340 in der relativen Lage der Meßebe-  
 345 in der relativen Lage der Meßebe-  
 350 in der relativen Lage der Meßebe-  
 355 in der relativen Lage der Meßebe-  
 360 in der relativen Lage der Meßebe-  
 365 in der relativen Lage der Meßebe-  
 370 in der relativen Lage der Meßebe-  
 375 in der relativen Lage der Meßebe-  
 380 in der relativen Lage der Meßebe-  
 385 in der relativen Lage der Meßebe-  
 390 in der relativen Lage der Meßebe-  
 395 in der relativen Lage der Meßebe-  
 400 in der relativen Lage der Meßebe-  
 405 in der relativen Lage der Meßebe-  
 410 in der relativen Lage der Meßebe-  
 415 in der relativen Lage der Meßebe-  
 420 in der relativen Lage der Meßebe-  
 425 in der relativen Lage der Meßebe-  
 430 in der relativen Lage der Meßebe-  
 435 in der relativen Lage der Meßebe-  
 440 in der relativen Lage der Meßebe-  
 445 in der relativen Lage der Meßebe-  
 450 in der relativen Lage der Meßebe-  
 455 in der relativen Lage der Meßebe-  
 460 in der relativen Lage der Meßebe-  
 465 in der relativen Lage der Meßebe-  
 470 in der relativen Lage der Meßebe-  
 475 in der relativen Lage der Meßebe-  
 480 in der relativen Lage der Meßebe-  
 485 in der relativen Lage der Meßebe-  
 490 in der relativen Lage der Meßebe-  
 495 in der relativen Lage der Meßebe-  
 500 in der relativen Lage der Meßebe-  
 505 in der relativen Lage der Meßebe-  
 510 in der relativen Lage der Meßebe-  
 515 in der relativen Lage der Meßebe-  
 520 in der relativen Lage der Meßebe-  
 525 in der relativen Lage der Meßebe-  
 530 in der relativen Lage der Meßebe-  
 535 in der relativen Lage der Meßebe-  
 540 in der relativen Lage der Meßebe-  
 545 in der relativen Lage der Meßebe-  
 550 in der relativen Lage der Meßebe-  
 555 in der relativen Lage der Meßebe-  
 560 in der relativen Lage der Meßebe-  
 565 in der relativen Lage der Meßebe-  
 570 in der relativen Lage der Meßebe-  
 575 in der relativen Lage der Meßebe-  
 580 in der relativen Lage der Meßebe-  
 585 in der relativen Lage der Meßebe-  
 590 in der relativen Lage der Meßebe-  
 595 in der relativen Lage der Meßebe-  
 600 in der relativen Lage der Meßebe-  
 605 in der relativen Lage der Meßebe-  
 610 in der relativen Lage der Meßebe-  
 615 in der relativen Lage der Meßebe-  
 620 in der relativen Lage der Meßebe-  
 625 in der relativen Lage der Meßebe-  
 630 in der relativen Lage der Meßebe-  
 635 in der relativen Lage der Meßebe-  
 640 in der relativen Lage der Meßebe-  
 645 in der relativen Lage der Meßebe-  
 650 in der relativen Lage der Meßebe-  
 655 in der relativen Lage der Meßebe-  
 660 in der relativen Lage der Meßebe-  
 665 in der relativen Lage der Meßebe-  
 670 in der relativen Lage der Meßebe-  
 675 in der relativen Lage der Meßebe-  
 680 in der relativen Lage der Meßebe-  
 685 in der relativen Lage der Meßebe-  
 690 in der relativen Lage der Meßebe-  
 695 in der relativen Lage der Meßebe-  
 700 in der relativen Lage der Meßebe-  
 705 in der relativen Lage der Meßebe-  
 710 in der relativen Lage der Meßebe-  
 715 in der relativen Lage der Meßebe-  
 720 in der relativen Lage der Meßebe-  
 725 in der relativen Lage der Meßebe-  
 730 in der relativen Lage der Meßebe-  
 735 in der relativen Lage der Meßebe-  
 740 in der relativen Lage der Meßebe-  
 745 in der relativen Lage der Meßebe-  
 750 in der relativen Lage der Meßebe-  
 755 in der relativen Lage der Meßebe-  
 760 in der relativen Lage der Meßebe-  
 765 in der relativen Lage der Meßebe-  
 770 in der relativen Lage der Meßebe-  
 775 in der relativen Lage der Meßebe-  
 780 in der relativen Lage der Meßebe-  
 785 in der relativen Lage der Meßebe-  
 790 in der relativen Lage der Meßebe-  
 795 in der relativen Lage der Meßebe-  
 800 in der relativen Lage der Meßebe-  
 805 in der relativen Lage der Meßebe-  
 810 in der relativen Lage der Meßebe-  
 815 in der relativen Lage der Meßebe-  
 820 in der relativen Lage der Meßebe-  
 825 in der relativen Lage der Meßebe-  
 830 in der relativen Lage der Meßebe-  
 835 in der relativen Lage der Meßebe-  
 840 in der relativen Lage der Meßebe-  
 845 in der relativen Lage der Meßebe-  
 850 in der relativen Lage der Meßebe-  
 855 in der relativen Lage der Meßebe-  
 860 in der relativen Lage der Meßebe-  
 865 in der relativen Lage der Meßebe-  
 870 in der relativen Lage der Meßebe-  
 875 in der relativen Lage der Meßebe-  
 880 in der relativen Lage der Meßebe-  
 885 in der relativen Lage der Meßebe-  
 890 in der relativen Lage der Meßebe-  
 895 in der relativen Lage der Meßebe-  
 900 in der relativen Lage der Meßebe-  
 905 in der relativen Lage der Meßebe-  
 910 in der relativen Lage der Meßebe-  
 915 in der relativen Lage der Meßebe-  
 920 in der relativen Lage der Meßebe-  
 925 in der relativen Lage der Meßebe-  
 930 in der relativen Lage der Meßebe-  
 935 in der relativen Lage der Meßebe-  
 940 in der relativen Lage der Meßebe-  
 945 in der relativen Lage der Meßebe-  
 950 in der relativen Lage der Meßebe-  
 955 in der relativen Lage der Meßebe-  
 960 in der relativen Lage der Meßebe-  
 965 in der relativen Lage der Meßebe-  
 970 in der relativen Lage der Meßebe-  
 975 in der relativen Lage der Meßebe-  
 980 in der relativen Lage der Meßebe-  
 985 in der relativen Lage der Meßebe-  
 990 in der relativen Lage der Meßebe-  
 995 in der relativen Lage der Meßebe-

Weiterhin ist es bei einer Maschine mit automatischem Werkzeugwechsel von Vorteil, wenn die Meßebe-  
 20 in der relativen Lage der Meßebe-  
 25 in der relativen Lage der Meßebe-  
 30 in der relativen Lage der Meßebe-  
 35 in der relativen Lage der Meßebe-  
 40 in der relativen Lage der Meßebe-  
 45 in der relativen Lage der Meßebe-  
 50 in der relativen Lage der Meßebe-  
 55 in der relativen Lage der Meßebe-  
 60 in der relativen Lage der Meßebe-  
 65 in der relativen Lage der Meßebe-  
 70 in der relativen Lage der Meßebe-  
 75 in der relativen Lage der Meßebe-  
 80 in der relativen Lage der Meßebe-  
 85 in der relativen Lage der Meßebe-  
 90 in der relativen Lage der Meßebe-  
 95 in der relativen Lage der Meßebe-  
 100 in der relativen Lage der Meßebe-  
 105 in der relativen Lage der Meßebe-  
 110 in der relativen Lage der Meßebe-  
 115 in der relativen Lage der Meßebe-  
 120 in der relativen Lage der Meßebe-  
 125 in der relativen Lage der Meßebe-  
 130 in der relativen Lage der Meßebe-  
 135 in der relativen Lage der Meßebe-  
 140 in der relativen Lage der Meßebe-  
 145 in der relativen Lage der Meßebe-  
 150 in der relativen Lage der Meßebe-  
 155 in der relativen Lage der Meßebe-  
 160 in der relativen Lage der Meßebe-  
 165 in der relativen Lage der Meßebe-  
 170 in der relativen Lage der Meßebe-  
 175 in der relativen Lage der Meßebe-  
 180 in der relativen Lage der Meßebe-  
 185 in der relativen Lage der Meßebe-  
 190 in der relativen Lage der Meßebe-  
 195 in der relativen Lage der Meßebe-  
 200 in der relativen Lage der Meßebe-  
 205 in der relativen Lage der Meßebe-  
 210 in der relativen Lage der Meßebe-  
 215 in der relativen Lage der Meßebe-  
 220 in der relativen Lage der Meßebe-  
 225 in der relativen Lage der Meßebe-  
 230 in der relativen Lage der Meßebe-  
 235 in der relativen Lage der Meßebe-  
 240 in der relativen Lage der Meßebe-  
 245 in der relativen Lage der Meßebe-  
 250 in der relativen Lage der Meßebe-  
 255 in der relativen Lage der Meßebe-  
 260 in der relativen Lage der Meßebe-  
 265 in der relativen Lage der Meßebe-  
 270 in der relativen Lage der Meßebe-  
 275 in der relativen Lage der Meßebe-  
 280 in der relativen Lage der Meßebe-  
 285 in der relativen Lage der Meßebe-  
 290 in der relativen Lage der Meßebe-  
 295 in der relativen Lage der Meßebe-  
 300 in der relativen Lage der Meßebe-  
 305 in der relativen Lage der Meßebe-  
 310 in der relativen Lage der Meßebe-  
 315 in der relativen Lage der Meßebe-  
 320 in der relativen Lage der Meßebe-  
 325 in der relativen Lage der Meßebe-  
 330 in der relativen Lage der Meßebe-  
 335 in der relativen Lage der Meßebe-  
 340 in der relativen Lage der Meßebe-  
 345 in der relativen Lage der Meßebe-  
 350 in der relativen Lage der Meßebe-  
 355 in der relativen Lage der Meßebe-  
 360 in der relativen Lage der Meßebe-  
 365 in der relativen Lage der Meßebe-  
 370 in der relativen Lage der Meßebe-  
 375 in der relativen Lage der Meßebe-  
 380 in der relativen Lage der Meßebe-  
 385 in der relativen Lage der Meßebe-  
 390 in der relativen Lage der Meßebe-  
 395 in der relativen Lage der Meßebe-  
 400 in der relativen Lage der Meßebe-  
 405 in der relativen Lage der Meßebe-  
 410 in der relativen Lage der Meßebe-  
 415 in der relativen Lage der Meßebe-  
 420 in der relativen Lage der Meßebe-  
 425 in der relativen Lage der Meßebe-  
 430 in der relativen Lage der Meßebe-  
 435 in der relativen Lage der Meßebe-  
 440 in der relativen Lage der Meßebe-  
 445 in der relativen Lage der Meßebe-  
 450 in der relativen Lage der Meßebe-  
 455 in der relativen Lage der Meßebe-  
 460 in der relativen Lage der Meßebe-  
 465 in der relativen Lage der Meßebe-  
 470 in der relativen Lage der Meßebe-  
 475 in der relativen Lage der Meßebe-  
 480 in der relativen Lage der Meßebe-  
 485 in der relativen Lage der Meßebe-  
 490 in der relativen Lage der Meßebe-  
 495 in der relativen Lage der Meßebe-  
 500 in der relativen Lage der Meßebe-  
 505 in der relativen Lage der Meßebe-  
 510 in der relativen Lage der Meßebe-  
 515 in der relativen Lage der Meßebe-  
 520 in der relativen Lage der Meßebe-  
 525 in der relativen Lage der Meßebe-  
 530 in der relativen Lage der Meßebe-  
 535 in der relativen Lage der Meßebe-  
 540 in der relativen Lage der Meßebe-  
 545 in der relativen Lage der Meßebe-  
 550 in der relativen Lage der Meßebe-  
 555 in der relativen Lage der Meßebe-  
 560 in der relativen Lage der Meßebe-  
 565 in der relativen Lage der Meßebe-  
 570 in der relativen Lage der Meßebe-  
 575 in der relativen Lage der Meßebe-  
 580 in der relativen Lage der Meßebe-  
 585 in der relativen Lage der Meßebe-  
 590 in der relativen Lage der Meßebe-  
 595 in der relativen Lage der Meßebe-  
 600 in der relativen Lage der Meßebe-  
 605 in der relativen Lage der Meßebe-  
 610 in der relativen Lage der Meßebe-  
 615 in der relativen Lage der Meßebe-  
 620 in der relativen Lage der Meßebe-  
 625 in der relativen Lage der Meßebe-  
 630 in der relativen Lage der Meßebe-  
 635 in der relativen Lage der Meßebe-  
 640 in der relativen Lage der Meßebe-  
 645 in der relativen Lage der Meßebe-  
 650 in der relativen Lage der Meßebe-  
 655 in der relativen Lage der Meßebe-  
 660 in der relativen Lage der Meßebe-  
 665 in der relativen Lage der Meßebe-  
 670 in der relativen Lage der Meßebe-  
 675 in der relativen Lage der Meßebe-  
 680 in der relativen Lage der Meßebe-  
 685 in der relativen Lage der Meßebe-  
 690 in der relativen Lage der Meßebe-  
 695 in der relativen Lage der Meßebe-  
 700 in der relativen Lage der Meßebe-  
 705 in der relativen Lage der Meßebe-  
 710 in der relativen Lage der Meßebe-  
 715 in der relativen Lage der Meßebe-  
 720 in der relativen Lage der Meßebe-  
 725 in der relativen Lage der Meßebe-  
 730 in der relativen Lage der Meßebe-  
 735 in der relativen Lage der Meßebe-  
 740 in der relativen Lage der Meßebe-  
 745 in der relativen Lage der Meßebe-  
 750 in der relativen Lage der Meßebe-  
 755 in der relativen Lage der Meßebe-  
 760 in der relativen Lage der Meßebe-  
 765 in der relativen Lage der Meßebe-  
 770 in der relativen Lage der Meßebe-  
 775 in der relativen Lage der Meßebe-  
 780 in der relativen Lage der Meßebe-  
 785 in der relativen Lage der Meßebe-  
 790 in der relativen Lage der Meßebe-  
 795 in der relativen Lage der Meßebe-  
 800 in der relativen Lage der Meßebe-  
 805 in der relativen Lage der Meßebe-  
 810 in der relativen Lage der Meßebe-  
 815 in der relativen Lage der Meßebe-  
 820 in der relativen Lage der Meßebe-  
 825 in der relativen Lage der Meßebe-  
 830 in der relativen Lage der Meßebe-  
 835 in der relativen Lage der Meßebe-  
 840 in der relativen Lage der Meßebe-  
 845 in der relativen Lage der Meßebe-  
 850 in der relativen Lage der Meßebe-  
 855 in der relativen Lage der Meßebe-  
 860 in der relativen Lage der Meßebe-  
 865 in der relativen Lage der Meßebe-  
 870 in der relativen Lage der Meßebe-  
 875 in der relativen Lage der Meßebe-  
 880 in der relativen Lage der Meßebe-  
 885 in der relativen Lage der Meßebe-  
 890 in der relativen Lage der Meßebe-  
 895 in der relativen Lage der Meßebe-  
 900 in der relativen Lage der Meßebe-  
 905 in der relativen Lage der Meßebe-  
 910 in der relativen Lage der Meßebe-  
 915 in der relativen Lage der Meßebe-  
 920 in der relativen Lage der Meßebe-  
 925 in der relativen Lage der Meßebe-  
 930 in der relativen Lage der Meßebe-  
 935 in der relativen Lage der Meßebe-  
 940 in der relativen Lage der Meßebe-  
 945 in der relativen Lage der Meßebe-  
 950 in der relativen Lage der Meßebe-  
 955 in der relativen Lage der Meßebe-  
 960 in der relativen Lage der Meßebe-  
 965 in der relativen Lage der Meßebe-  
 970 in der relativen Lage der Meßebe-  
 975 in der relativen Lage der Meßebe-  
 980 in der relativen Lage der Meßebe-  
 985 in der relativen Lage der Meßebe-  
 990 in der relativen Lage der Meßebe-  
 995 in der relativen Lage der Meßebe-

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung, Fig. 1 bis 3, dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die Fig. 4 und 5 betreffen alternative Verfahren, um den aktuellen Verschmutzungsgrad der Luft im Arbeitsraum zu berücksichtigen, die nicht Gegenstand der Patentansprüche sind. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Werkzeugmaschine in Seitenansicht, auf der das neue Verfahren durchgeführt wird, wobei das Werkzeug nicht in die Meßebe-  
 55 eingetaucht ist;

Fig. 2 eine Darstellung wie Fig. 1, wobei das Werkzeug jedoch gerade in die Meßebe-  
 60 eingetaucht ist;

Fig. 3 eine Darstellung längs der Linie III-III aus Fig. 2;

Fig. 4 ein zweites Meßsystem für die Meßebe-  
 65 in einer ausschnittweisen Darstellung, in der Ansicht wie bei Fig. 3; und

Fig. 5 in einer Darstellung wie Fig. 4 ein drittes Meßsystem für die Meßebe-  
 70 in einer ausschnittweisen Darstellung, in der Ansicht wie bei Fig. 3; und

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Seiten-

ansicht einer Werkzeugmaschine 10. Die Werkzeugmaschine 10 umfaßt einen bei 11 angedeuteten Werkzeu-  
 5 tisch zur Aufnahme eines zu bearbeitenden Werkstückes, das der Übersicht halber nicht dargestellt ist. Ferner ist ein Spindelstock 12 vorgesehen, in welchem eine bei 13 angedeutete Spindel drehbar und angetrieben gela-  
 10 gert ist. In der Spindel 13 sitzt ein auf den Werkstück-  
 15 tisch 11 zuweisendes Werkzeug 14.

Der Spindelstock 12 ist in den drei angedeuteten Ko-  
 20 ordinaten X, Y und Z relativ zu dem Werkstücktisch verfahrbar. Zur Bestimmung der relativen Lage des Spindelstockes in Z-Richtung ist ein Wegmeßsystem 15 mit einem bei 16 angedeuteten Z-Maßstab vorgesehen. Mit 17 ist ein Referenzpunkt für die Z-Richtung ange-  
 25 deutet, welcher bei dem gewählten Koordinatensystem der X/Y-Ebene entspricht.

Zur Bestimmung der relativen Lage des Spindelstockes 12 in Z-Richtung ist an dem Spindelstock 12 eine Referenzebene festgelegt, welche mit dem Übergang zwischen Spindel 13 und Werkzeug 14 übereinstimmt. Diese Referenzebene ist in Fig. 1 durch einen Meßpfeil 19 angedeutet, welcher auf den Maßstab 16 weist. Der Abstand zwischen dem Referenzpunkt 17 und dem Meßpfeil 19 gibt jeweils die relative Lage des Spindel-  
 30 stockes 12 an.

Auf dem Werkstücktisch 11 ist ein optisches Meßsystem 21 angeordnet, das im vorliegenden Falle eine Lichtschranke 22 ist. Die Lichtschranke 22 umfaßt einen Geber 23, der hier als Laserlichtquelle 24 ausgebildet ist.

Ferner ist ein Empfänger 25 vorhanden, der als Fotozelle 26 ausgebildet ist. Dem Empfänger 25 ist eine Auswerteeinheit 27 zugeordnet.

Die Laserlichtquelle 24 gibt einen Laserstrahl 28 aus, welcher auf die Fotozelle 26 gerichtet ist. Durch den Laserstrahl 28 wird eine optische Meßebe-  
 35 ne 29 aufgespannt, welche in Fig. 1 parallel zu der X/Y-Ebene verläuft.

Die Meßebe-  
 40 ne 29 ist in einem Abstand Rz zu dem Referenzpunkt 17 angeordnet. Dieser Abstand Rz ist entweder als Maschinenparameter bekannt, er kann aber auch mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens berechnet werden. Dies wird nachstehend noch beschrieben werden.

Während in Fig. 1 das Werkzeug 14 noch nicht in die Meßebe-  
 45 ne 29 eingetaucht ist, ist in Fig. 2 der Fall dargestellt, bei dem das Meßwerkzeug 14 gerade in die Meßebe-  
 50 ne 29 eintaucht und den Laserstrahl 28 unterbricht. Der Laserstrahl 28 wird nun entweder überhaupt nicht mehr auf die Fotozelle 26 auftreffen, oder aber nur noch mit verminderter Strahlleistung, was durch die gestrichelte Darstellung des Laserstrahles 28' in Fig. 2 links von dem Werkzeug 14 angedeutet ist.

Das Unterbrechen des Laserstrahles 28 oder die Herabsetzung seiner Intensität wird von der Auswerteeinheit 27 erkannt. Die Auswerteeinheit 27 fragt dann die momentane relative Lage Pzm des Spindelstockes 12 bezogen auf den Referenzpunkt 17 ab.

In der in Fig. 2 gezeigten Stellung des Spindelstockes 12 ist die geometrische Beziehung zwischen der relativen Lage der Meßebe-  
 60 ne 29 und des Spindelstockes 12 derart, daß die Länge l des Werkzeuges 14 sich aus der Differenz zwischen Rz und Pzm ergibt. Die Länge l des Werkzeuges 14 ist dabei so definiert, daß sie dem Abstand von der Werkzeuspitze zu der durch den Meßpfeil 19 angedeuteten Referenzebe-  
 65 ne am Spindelstock entspricht.

Zwischen den Stellungen gemäß Fig. 1 und Fig. 2 ist der Spindelstock 12 in Z-Richtung verfahren worden.

Das Meßsystem 21 ist jetzt so ausgelegt, daß die Auswerteeinheit 27 die Fotozelle 26 mit einer Meßperiode abfragt, die auf die Verfahrensgeschwindigkeit des Spindelstockes 12 in Z-Richtung sowie auf die gewünschte Auflösung abgestimmt ist. Je schneller der Spindelstock 12 verfahren wird und je höher die gewünschte Auflösung ist, desto kleiner muß die Meßperiode sein. Je höher also der Verfahrensweg des Spindelstockes 12 pro Zeiteinheit ist, desto mehr Meßwerte müssen je Zeiteinheit genommen werden. Beträgt die Zustellgeschwindigkeit beispielsweise 10 mm pro Sekunde und soll die Meßgenauigkeit bei 0,1 mm liegen, so müssen mindestens 100 Meßwerte pro Sekunde genommen werden. Durch eine Erhöhung der Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit kann dabei also auch die Meßgenauigkeit erhöht werden.

Es hat sich nun gezeigt, daß sich während der Betriebszeit der Werkzeugmaschine durch thermische Deflektionen oder andere Lageveränderungen die relative Lage  $R_z$  der Meßebebene 29 bezogen auf den Referenzpunkt 17 verändert. Da dies die Meßgenauigkeit ebenfalls beeinflusst, ist nunmehr vorgesehen, mit Hilfe eines Meßwerkzeuges 31 die relative Lage  $R_z$  zu vermessen. Dazu wird statt eines Werkzeuges 14 ein Meßwerkzeug 31 in die Spindel 13 eingespannt, dessen Länge  $l$  bekannt ist.

Nunmehr wird für das Meßwerkzeug 31 das oben beschriebene Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges durchgeführt, wobei jedoch die relative Lage  $R_z$  der Meßebebene 29 zu bestimmen ist. Aus der in Fig. 2 hervorgehenden geometrischen Beziehung ergibt sich, daß  $R_z$  der Summe der momentanen relativen Lage  $P_{zm}$  und der Länge  $l$  entspricht.

Das Einwechseln eines Meßwerkzeuges kann insbesondere bei Werkzeugmaschinen mit automatischem Werkzeugwechsel während der Bearbeitung eines Werkstückes mit unterschiedlichen Werkzeugen immer wieder zwischen den einzelnen Werkzeugwechseln erfolgen, so daß über die gesamte Bearbeitungszeit eine Kontrolle der Lage der Meßebebene 29 erfolgt. Dies erhöht nicht nur die Genauigkeit bei der Vermessung des jeweilig verwendeten Werkzeuges, es können somit auch Lageveränderungen innerhalb der Maschine erkannt und entsprechend berücksichtigt werden.

Fig. 3 zeigt in einer Draufsicht der Anordnung aus Fig. 2 eine zweite optische Meßebebene 32, welche in der X/Z-Ebene liegt. Auch die Meßebebene 32 wird durch den Laserstrahl 28 aufgespannt.

Ferner ist ein Wegmeßsystem 33 für die Y-Richtung dargestellt, das einen u-Referenzpunkt 34 sowie einen Y-Maßstab 35 umfaßt. Mit Hilfe des Wegmeßsystemes 33 wird die relative Lage  $P_y$  des Spindelstockes 12 in Y-Richtung vermessen.

Ferner ist ein Meßgerät 36 angedeutet, welches die von der Auswerteeinheit 27 abgegebenen Meßsignale anzeigen soll. Eine derartige Anzeige ist selbstverständlich nicht erforderlich, hierdurch soll lediglich das Meßsignal als solches gegenständlich dargestellt werden.

Ferner weist die Auswerteeinheit 27 einen Ausgang 37 auf, an welchem angezeigt wird, ob ein Werkzeug 14 bzw. ein Meßwerkzeug 31 in die Meßebebene 29 bzw. 32 eingetaucht ist.

In Fig. 3 ist mit 38 noch ein Meßpfeil angedeutet, welcher durch die Drehachse des Werkzeuges 14 verläuft. Der Abstand zwischen dem Meßpfeil 38 und dem Referenzpunkt 34 gibt die relative Lage  $P_y$  des Spindelstockes 12 in Y-Richtung an. Ein dem Wegmeßsystem 33 entsprechendes Wegmeßsystem ist auch für die X-Richtung vorgesehen, jedoch aus Gründen der Über-

sichtlichkeit nicht dargestellt.

In der mit 14' dargestellten Lage des Werkzeuges 14 gibt die Auswerteeinheit 27 an ihrem Ausgang 37 ein Signal aus, das andeutet, daß das Werkzeug 14 gerade in die Meßebebene 32 eintaucht. Jetzt wird die momentane relative Lage  $P_{ym}$  des Spindelstockes 12 bzw. des Meßpfeiles 38 gemessen und durch Differenzbildung mit der relativen Lage  $R_y$  des Laserstrahles 28 in der X/Z-Ebene der Radius des Werkzeuges 14 bestimmt.

Verwendet man jetzt wieder ein Meßwerkzeug 31, dessen Radius  $r$  bekannt ist, so kann man mit Hilfe der momentanen Lage  $P_{ym}$  die relative Lage  $R_y$  der Meßebebene 32 berechnen.

Somit können auch Verschiebungen innerhalb der Werkzeugmaschine in Y-Richtung erkannt werden. Durch ein weiteres optisches Meßsystem, das in Y-Richtung ausgerichtet ist, können entsprechende Messungen auch für die X-Richtung vorgenommen werden.

Im folgenden ist bezüglich der Meßgenauigkeit zu bedenken, daß in dem Arbeitsraum der Werkzeugmaschine eine ölverpestete Luft vorhanden ist, welche zusätzlich mit kleinen Verunreinigungen in Form von Spänen und sonstigem Abrieb belastet ist. Diese Verunreinigungen driften im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine 10 umher und führen dazu, daß der Laserstrahl 28 mit unterschiedlicher Intensität auf der Fotozelle 26 auftrifft. Um nun zu verhindern, daß bereits ein Signalabfall durch derartige Verunreinigungen dazu führt, daß das Eintauchen des Werkzeuges 14 in die Meßebebene 32 oder 29 angenommen wird, wird das aktuelle Meßsignal der Auswerteeinheit bzw. der Fotozelle 26 jeweils mit einem Referenzwert verglichen. Dieser Referenzwert wird periodisch genommen und entspricht im einfachsten Ausführungsbeispiel dem zuletzt genommenen Meßwert. Das bedeutet, daß der aktuelle Meßwert jeweils mit dem zuletzt genommenen Meßwert verglichen wird, und daß aus dem Vergleich darauf geschlossen wird, ob ein Werkzeug 14 in die Meßebebene 32 eintaucht. Hierbei wird davon ausgegangen, daß die Intensitätsänderung des Laserstrahles durch die im Arbeitsraum vorhandenen Verunreinigungen gering ist verglichen mit der Änderung der Intensität durch das Eintauchen eines Werkzeuges 14. Wird jedoch einmal ein drastischer Intensitätsabfall, bspw. um 60%, erkannt, so wird der zuletzt genommene Meßwert als Vergleichswert für alle folgenden Messungen beibehalten. Auf diese Weise kann die Wirkung der Verunreinigungen sozusagen ausgeblendet werden.

Anhand der Tabelle 1 soll jetzt beschrieben werden, wie mit dem insoweit beschriebenen Verfahren auch die Rundheit eines Werkzeuges 14 bestimmt werden kann. In der Tabelle 1 sind in der linken Spalte fünf verschiedene Zustände während des Eintauchens eines Werkzeuges 14 in die Meßebebene 32 dargestellt. In der mittleren Spalte ist das jeweils zugehörige Meßsignal der Auswerteeinheit 27 angegeben, wobei mit  $U_0$  der Vergleichswert bezeichnet ist.

In der rechten Spalte findet sich der Ausgang 37 der Auswerteeinheit 27 wieder, wobei ein Plus-Zeichen das Erkennen des Eintauchens eines Werkzeuges bezeichnet.

In der obersten Zeile ist das Werkzeug 14 noch so weit von der Meßebebene 32 entfernt, daß trotz der in Tabelle 1 überdeutlich dargestellten Unrundheit des Werkzeuges 14 der Laserstrahl 28 nie unterbrochen wird. Das Meßsignal beträgt hier beispielsweise 30 mV. Der Ausgang 37 gibt kein Signal aus.

In der zweiten Zeile hat sich das Werkzeug 14 tangen-



tial der Meßebeene 32 genähert, ist jedoch noch nicht in die Meßebeene 32 eingetaucht. Bedingt durch Verschmutzungen im Arbeitsraum ist das Meßsignal inzwischen auf 27 mV abgesunken, der Ausgang 37 zeigt jedoch noch kein eingetauchtes Werkzeug an.

In der dritten Zeile hat sich das Werkzeug 14 um ca. 90° gedreht, so daß der Laserstrahl 28 jetzt vollständig unterbrochen ist. Das Meßsignal beträgt jetzt nur noch 10 mV. Die Auswerteeinheit 27 erkennt diesen drastischen Signalabfall und nimmt das letzte Meßsignal (aus der zweiten Zeile) von 27 mV als Vergleichswert. Ferner wird an dem Ausgang 37 das Eintauchen eines Werkzeuges 14 angezeigt.

In der vierten Zeile hat sich zwar der Abstand des Werkzeuges 14 zu der Meßebeene 32 nicht geändert, bedingt durch die Drehung des unrundern Werkzeuges wird der Laserstrahl 28 jedoch nicht mehr unterbrochen. Dementsprechend liefert die Fotozelle ein Meßsignal von 28 mV, das mit dem Vergleichswert U0 von 27 mV verglichen wird. Aus dem Vergleich erkennt die Auswerteeinheit, daß kein Werkzeug mehr eingetaucht ist.

In der letzten Zeile der Tabelle 1 hat sich das Werkzeug 14 um weitere 90° gedreht und ist wieder in den Laserstrahl 28 eingetaucht. Das Meßsignal beträgt jetzt 12 mV, wobei die Abweichung zu dem Wert aus der dritten Zeile durch atmosphärische Änderungen im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine bedingt ist. Durch den Vergleich zwischen den 12 mV und U0 von 27 mV erkennt die Auswerteeinheit 17 wieder das Eintauchen eines Werkzeuges 14 und zeigt dies am Ausgang 37 an.

Hier ist jetzt zu erwähnen, daß die Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit und die Zahl der Umdrehungen des Werkzeuges pro Zeiteinheit derart aufeinander abgestimmt sind, daß keine Synchronisation stattfindet. Das bedeutet, daß die Meßperiode von der Zeit für eine Umdrehung des Werkzeuges, vorzugsweise sogar von einem ganzzahligen Vielfachen oder einem ganzzahligen Teil dieser Zeit verschieden ist. Mit anderen Worten erfaßt das Meßsystem das Werkzeug 14 pro Meßwert jeweils in einem anderen Drehungszustand, so daß die Unrundheit sicher erkannt werden kann.

Die Tabelle 1 gibt selbstverständlich nur einen kurzen Ausschnitt aus dem gesamten Meßablauf. Die Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeuges 14 in Y-Richtung ist, verglichen mit der Drehzahl des Werkzeuges 14 und der Zahl der Meßwerte pro Zeiteinheit, derart gering, daß die Unrundheit quasi stationär gemessen wird.

Dadurch, daß der Meßwert jeweils mit einem zuvor genommenen Vergleichswert verglichen wird, um auf das Eintauchen eines Werkzeuges 14 in die Meßebeene 32 bzw. 29 zu schließen, sind hier keine besonderen Maßnahmen zum Schutz des Gebers 23 bzw. des Empfängers 25 vorgesehen. Die Verschmutzungen werden sozusagen automatisch ausgeblendet.

In Fig. 4 ist ein weiteres optisches Meßsystem 39 dargestellt, wie es bei der Werkzeugmaschine nach den Fig. 1 bis 3 verwendet werden kann.

Das Meßsystem 39 umfaßt sozusagen ein weiteres System 40, das dem ursprünglichen Meßsystem 21 parallelgeschaltet ist. Zu diesem Zweck wird der Laserstrahl 28 mit einem Strahlteiler 41 und einem Umlenkspiegel 42 in zwei parallele Laserstrahlen 28' und 28'' aufgeteilt. Mit Hilfe eines weiteren Umlenkspiegels 43 und einem einseitig verspiegelten Umlenkspiegel 45 wird der Laserstrahl 28'' ebenfalls auf die Fotozelle 26 gelenkt.

Im Strahlengang beider Laserstrahlen 28' und 28''

sind Fotoverschlüsse oder Shutter 47 und 48 vorgesehen, welche über Steuerleitungen 49 und 50 von der Auswerteeinheit 27 geschaltet werden.

Die Auswerteeinheit 27 schaltet die Shutter 47 und 48 im Gegentakt, so daß die Fotozelle 26 entweder den Laserstrahl 28' oder den Laserstrahl 28'' mißt. Da das Werkzeug 14 nur in den Laserstrahl 28' eintaucht, der Laserstrahl 28'' also davon unberührt bleibt, findet die Vergleichsmessung zwischen zwei nahezu zeitgleich genommenen Meßwerten statt. Dabei ist insbesondere von Vorteil, daß nur eine einzige Laserlichtquelle 24 und nur eine einzige Fotozelle 26 erforderlich sind. Auch auf diese Weise können also Verunreinigungen der Luft im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine ausgeblendet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Ausblendung von Verunreinigungen ist in Fig. 5 dargestellt. Das hier gezeigte Meßsystem 51 weist ebenfalls einen zweiten Pfad 52 auf, für den zweiten Laserstrahl 28'' ist jedoch eine gesonderte Fotozelle 53 vorgesehen. Über die Verbindungsleitung 54 wird die Fotozelle 53 ebenfalls von der Auswerteeinheit 27 ausgelesen, welche eine Differenzmessung zwischen den Fotozellen 26 und 53 durchführt. Auf diese Weise werden die beiden parallel verlaufenden Laserstrahlen 28' und 28'' zeitgleich ausgelesen und miteinander verglichen, so daß das Eintauchen des Werkzeuges 14 unabhängig von Verunreinigungen gemessen werden kann.

Sämtliche insoweit beschriebenen Verfahren zum Beseitigen der Einflüsse von Verunreinigungen im Arbeitsraum erhöhen ersichtlicherweise die Meßgenauigkeit des Systems. Hier kann nämlich nicht nur die vollständige Unterbrechung des Laserstrahles 28' durch ein eingetauchtes Werkzeug 14 erfaßt werden, vielmehr ist auch eine geringe Abschwächung des Laserstrahles 28' durch ein nur teilweise eingetauchtes Werkzeug 14 möglich. Da andererseits der verwendete Laserstrahl 28 nur einen sehr geringen Durchmesser hat, kann die relative Lage Pym bzw. Pzm des Spindelstockes 12 auf einen Bruchteil des Durchmessers des Laserstrahles und damit auf einen Bruchteil eines Millimeters genau bestimmt werden. Dieses führt im Zusammenhang mit der hohen Auflösung des Meßsystemes dazu, daß nicht nur eine sehr genaue Vermessung eines in der Werkzeugmaschine jeweils verwendeten Werkzeuges 14 sowohl in der Länge als auch im Durchmesser möglich ist, außerdem kann die Rundheit eines rotierenden Werkzeuges schnell ermittelt werden.

Durch alle insoweit beschriebenen Maßnahmen wird die Genauigkeit beim Vermessen eines Werkzeuges deutlich erhöht. Weiterhin bietet das neue Verfahren den Vorteil, daß auch Lageveränderungen innerhalb der Werkzeugmaschine erkannt werden können, wenn ein Meßwerkzeug vermessen wird, dessen Abmaße definiert und bekannt sind. Die dabei gewonnenen Werte können wiederum eingesetzt werden, wenn die nächsten Bearbeitungswerkzeuge 14 vermessen werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen eines Werkzeuges (14) in einer Spindel (13) einer Werkzeugmaschine (10), bei der das Werkzeug (14) durch relatives Verfahren zwischen einem die Spindel (13) aufnehmendem Spindelstock (12) und einem Werkstücktisch (11) zugestellt wird, wobei die relative Lage (Py, Pz) des Spindelstockes (12) zu einem Referenzpunkt (34, 17) mittels eines Wegmeßsystemes (33, 15) be-



stimmt wird, das Werkzeug in Richtung einer seiner Koordinaten (Y, Z) einer im wesentlichen quer zu der Koordinate (Y, Z) verlaufenden optischen Meßebe (32, 29) mit zugeordnetem optischem Meßsystem (21, 39, 51) zugestellt wird, das Meßsystem (21, 39, 51) ein Meßsignal ausgibt, anhand dessen bestimmt wird, ob das Werkzeug (14) in die Meßebe (32, 29) eintaucht, bei Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebe (32, 29) die momentane relative Lage (Pym, Pzm) des Spindelstockes (12) als Lagemeßwert (Pym, Pzm) gemessen wird, und aus dem Lagemeßwert (Pym, Pzm) sowie aus der relativen Lage (Ry, Rz) der Meßebe (32, 29) zu dem Referenzpunkt (34, 17) die Abmaße (r, l) des Werkzeuges (14) in der Koordinate (Y, Z) berechnet werden, wobei das Meßsignal des Meßsystems (21, 39, 51) mit einem von dem Meßsystem (21, 39, 51) aufgenommenen Vergleichswert (U0) verglichen wird, um festzustellen, ob das Werkzeug (14) in die Meßebe eintaucht, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Vergleichswert (U0) der aktuelle Verschmutzungsgrad der Luft im Arbeitsraum berücksichtigt wird, indem nur ein drastischer Signalabfall des Meßsignals gegenüber dem Vergleichswert (U0) als Eintauchen des Werkzeuges in die Meßebe gewertet wird, und der vor einem solchen drastischen Signalabfall genommene Vergleichswert beibehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichswert (U0) periodisch wiederkehrend gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der vor dem Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebe (32, 29) zuletzt genommene Meßwert als Vergleichswert (U0) verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Eintauchen des Werkzeuges (14) in die Meßebe (32, 29) durch eine Differenzmessung ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßebe (32, 29) durch eine Lichtschränke (22), vorzugsweise eine Laserlichtschränke, gebildet ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß es bei drehendem Werkzeug (14) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsystem (21, 39, 51) periodisch Meßwerte liefert.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl des Werkzeuges derart an die Meßperiode des Meßsystems angepaßt ist, daß die Drehzahl und die Meßperiode nicht miteinander synchronisiert sind.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Vermessen des Werkzeuges (14) ein Meßwerkzeug (31) mit definierten Abmaßen (r, l) vermessen wird, und daß aus dem Lagemeßwert (Pym, Pzm) für das Meßwerkzeug (31) und den definierten Abmaßen (r, l) die relative Lage (Ry, Rz) der Meßebe (32, 29) bestimmt wird.

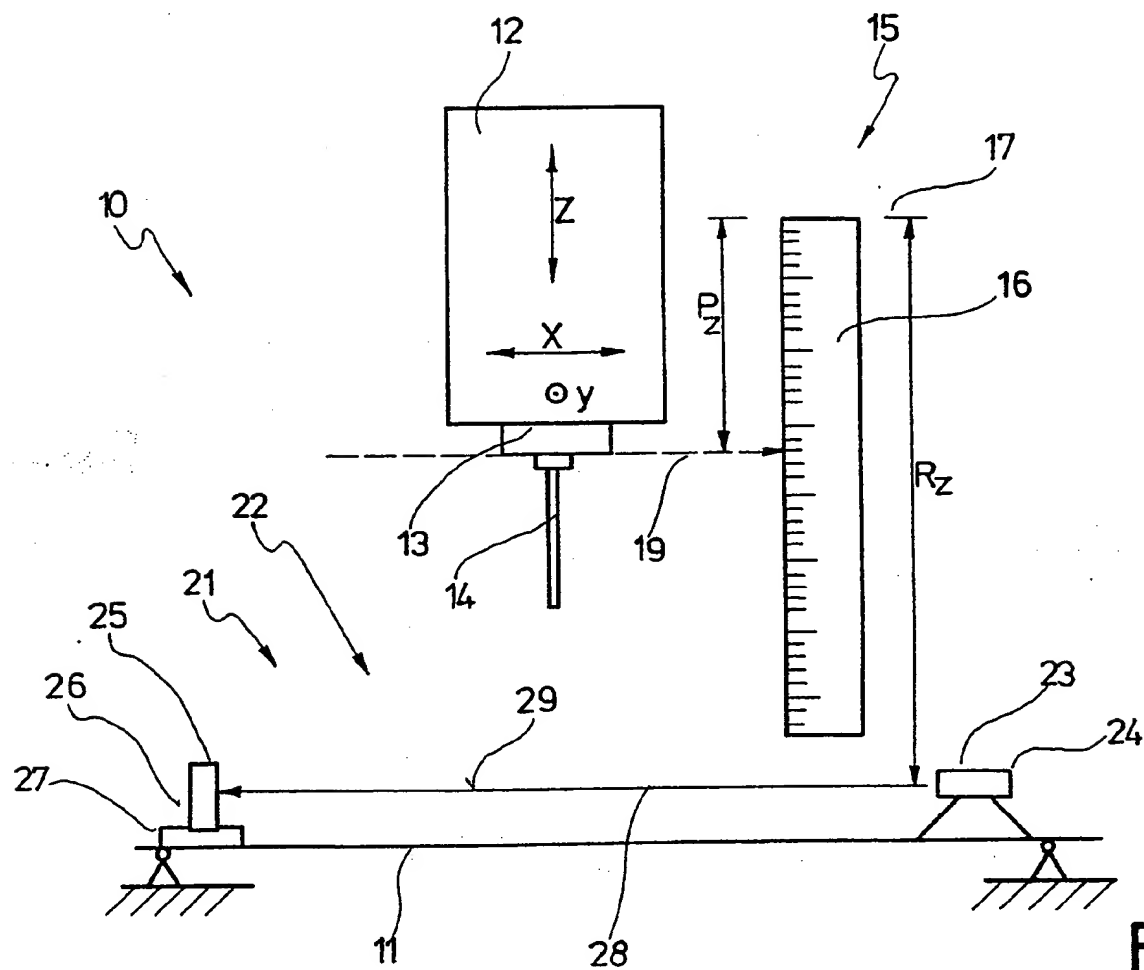
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es auf einer Werkzeugmaschine (10) mit automatischem Werkzeugwechsel durchgeführt wird, und daß die relative Lage (Ry, Rz) zwischen den Werkzeugwechseln be-

stimmt wird.

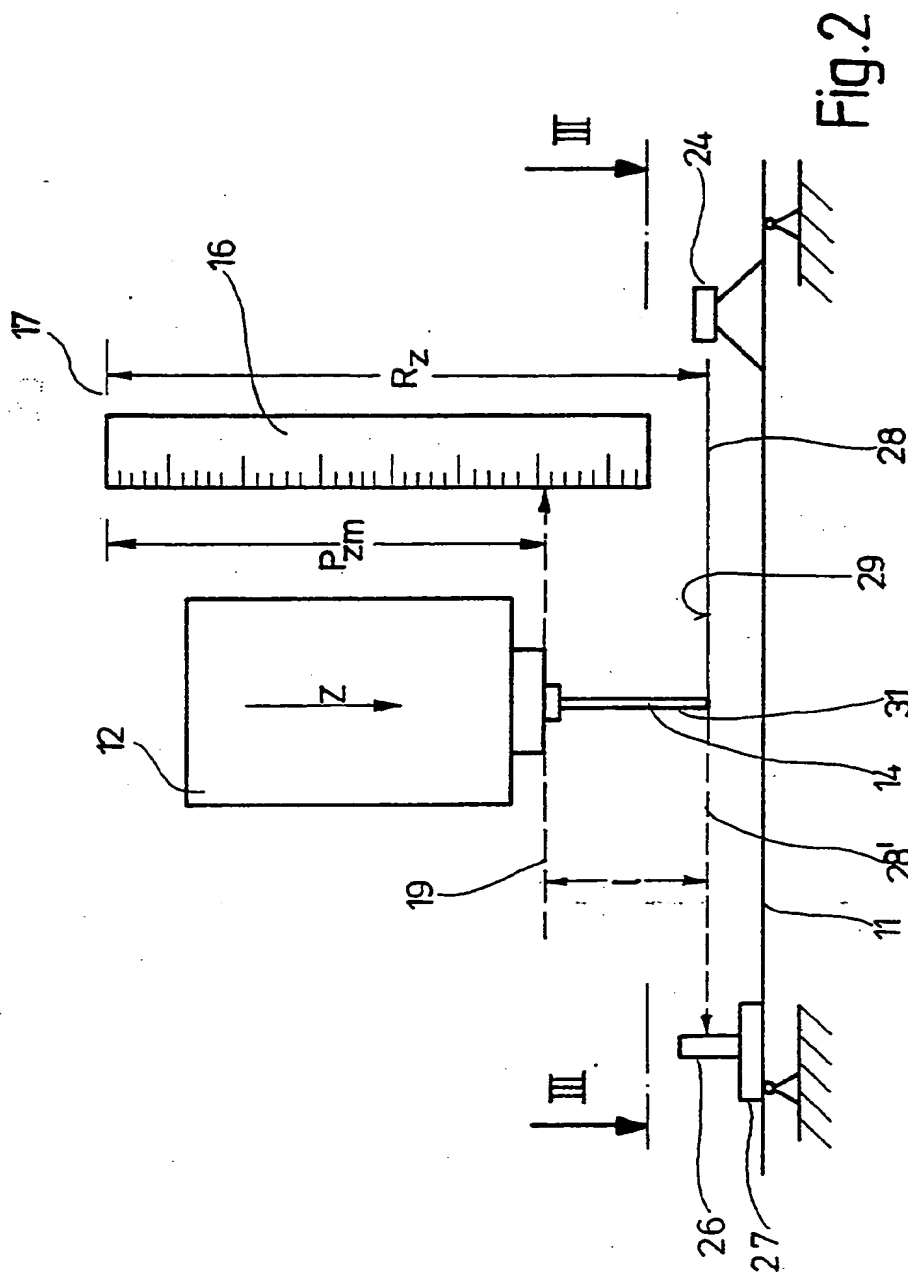
---

 Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen
 

---



**Fig.1**



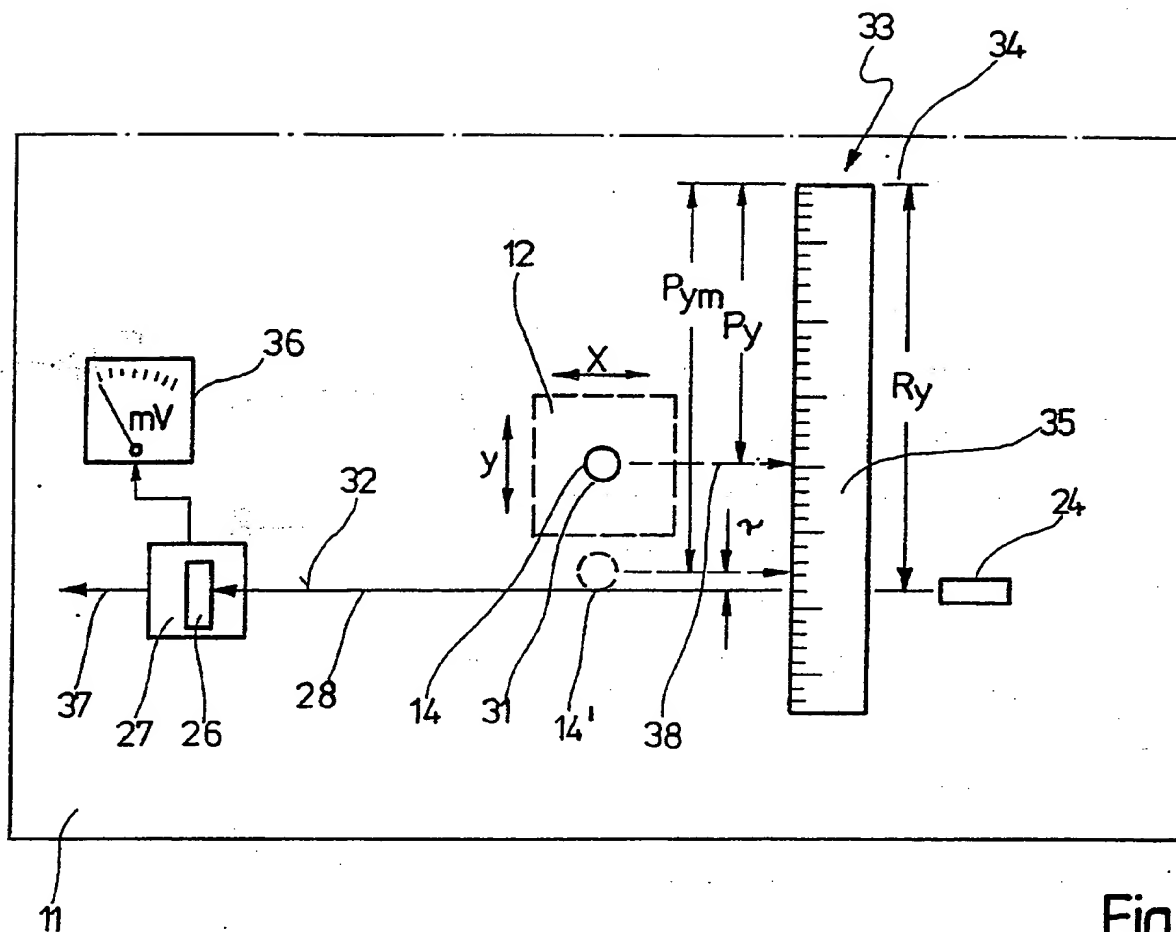


Fig.3

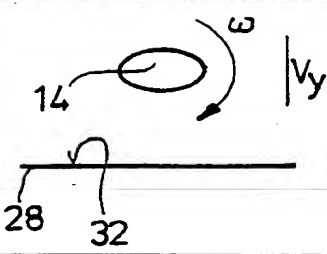
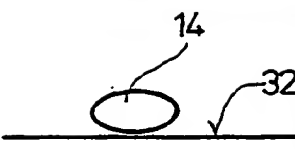
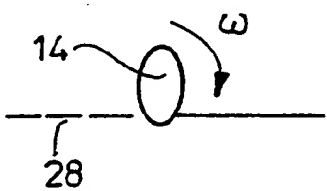
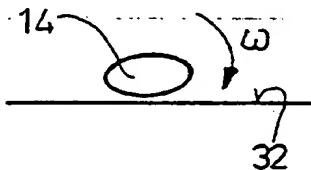
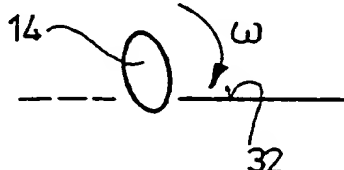
Position $P_y$	Signal 36	Ausgang 37
	$U = 30\text{mV}$	-
	$U = 27\text{mV}$	-
	$U = 10\text{mV}$ $U_o = 27\text{mV}$	+
	$U = 28\text{mV}$ $U_o = 27\text{mV}$	-
	$U = 12\text{mV}$ $U_o = 27\text{mV}$	+

Tabelle 1

